Prática 3: CAPACITORES

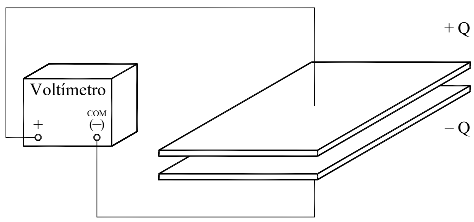
Objetivos

Quando uma tensão é aplicada a um capacitor ele não se carrega instantaneamente, mas tem uma resposta temporal característica. Analogamente, o capacitor carregado tem uma curva de descarga característica. Nesta prática serão utilizados fonte de tensão, capacitores e resistores (ou lâmpadas) para estudar o processo de carga e descarga de um circuito **RC** através de diversos experimentos qualitativos. A curva de *decaimento* da tensão de um capacitor $\mathbf{V_C(t)}$ será medida e através dela, o valor da constante de tempo do circuito será determinado.

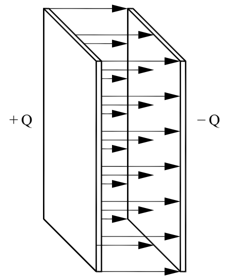
Introdução

Ao longo da história da eletricidade percebeu-se que era relativamente fácil obter grandes diferenças de potencial, por exemplo, através de eletrização por atrito. O problema era conseguir grande quantidade de carga e armazená-la. Percebeu-se que quando um condutor era eletrificado, seu tamanho determinava a quantidade de carga que ele conseguia armazenar. O físico italiano ***Alessandro Volta***, denominou assim ***condensador*** qualquer dispositivo capaz de armazenar cargas. Atualmente o termo capacitor é mais utilizado.

Figura 1.1 - (a) Capacitor de placas paralelas ligado a um voltímetro; (b)Distribuição de cargas nas placas do capacitor



(a)



(b)

Fonte: Elaborada pelo Compilador

A uma determinada diferença de potencial (**V**), como esquematizado na Fig.3.1((a) e (b)) a quantidade de carga (**Q**) armazenada por um corpo depende de diversas características físicas, mas **Q** é proporcional a **V**. Ou seja, podemos definir a capacitância (**C**) como:

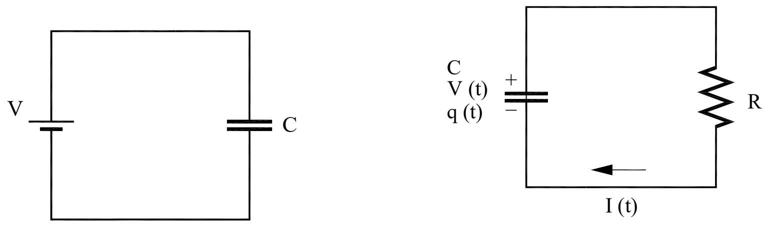
$$C = \frac{Q}{V} \tag{1}$$

No sistema MKS, a unidade de capacitância é Coulomb/Volt, que se denominou ***Farad***, em homenagem ao cientista ***M. Faraday***. ***Volta*** introduziu o termo capacidade elétrica em analogia com o conceito de capacidade térmica ou calor específico.

Descarga de um Condensador

Para determinarmos a capacitância de um condensador, **C**, faremos um experimento que consiste em carregar o mesmo com uma tensão inicial **V**. Isto é feito ligando-se o capacitor em paralelo a uma fonte, (Fig. 3.2(a)).

Figura 1.2 - a) Circuito para carregar o condensador; (b) Descarga do condensador em uma resistência **R**



(a) (b)

Fonte: Elaborada pelo Compilador

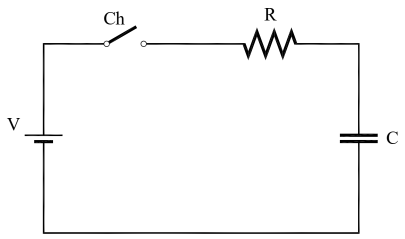
A Fig.3.2(b) ilustra que quando este capacitor carregado é ligado a um resistor, ele é descarregado pela corrente **I(t)**, ou seja, à medida que sua carga **Q(t)** diminui a tensão no capacitor $\mathbf{V_c(t)}$ diminui proporcionalmente a **Q(t)**. Pode-se mostrar que:

$$\mathrm{V(t) = V.\exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)} \qquad \text{onde } \boldsymbol{\tau} = \mathbf{RC} \qquad (2)$$

O decaimento da tensão no capacitor é exponencial, com tempo de resposta τ **= RC**. Ou seja, em **t =** τ, temos $\mathbf{V_c(\tau) \sim 0.37V}$.No entanto é mais prático usar $\mathbf{t_{1/3}}$ definido por $\mathbf{t_{1/3} = \tau.ln3 \sim 1.10}\tau$ e $\mathbf{V_c(t_{1/3}) = V/3}$. Logo, medindo experimentalmente $\mathbf{V_c(t_{1/3})}$, podemos determinar o valor de **RC** a partir da Eq.2. Nesta prática vocês irão calcular o valor da capacitância do capacitor através da medida da resposta temporal de $\mathbf{V_c(t_{1/3})}$.

Nesta prática vamos estudar, também, o caso em que um capacitor, inicialmente descarregado, é conectado em série a uma fonte (tensão **V**) e a um resistor (**R**) (Fig.3.3).

Figura 1.3 - Circuito RC



Fonte: Elaborada pelo Compilador

Neste caso, se a chave **Ch** é fechada em **t = 0**, pode-se mostrar que a tensão no capacitor é dada por:

$$V(t) = V\left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right] \quad (3)$$

Experimentos

I. Circuito RC Simples

***<u>ATENÇÃO</u>**: Nesta prática utilizaremos capacitores que devem ser colocados na <u>polarização correta</u> onde uma faixa indica o terminal negativo.*

*Usaremos a notação ilustrada na Figura 3.4(b), onde a placa **+** representa a placa positiva e a outra a negativa (**-**).*

Figura 1.4 – Notação utilizada para capacitores (a) eletrolíticos e (b) supercapacitores

(a) (b)

Fonte: Elaborada pelo Compilador

*Para não se confundirem sugerimos o uso de um cabo vermelho ligado ao terminal positivo (**+**) e um cabo preto ligado ao terminal negativo (**-**)*

***<u>Obs</u>**: a placa (**+**) está indicada pela cor vermelha*

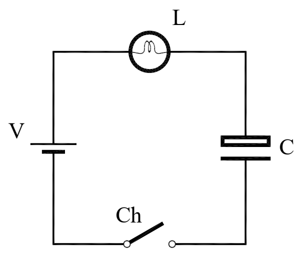
***<u>CUIDADO</u>** –*

• montagem do capacitor com polaridade invertida pode danificá-lo.

• o capacitor não pode ser ligado a uma tensão maior V_o.

I.1 <u>Previsão</u>: Um capacitor está conectado em série a lâmpada e a uma fonte de tensão contínua (de valor V_0 **= 10V**), tal como ilustrado na Fig.3.5. Suponham que o circuito tenha sido ligado há muito tempo, ou seja, o estado estacionário já foi atingido. Respondam por escrito: como será o brilho da lâmpada?

Figura 1.5 - Circuito com uma lâmpada em série com um capacitor



Fonte: Elaborada pelo Compilador

I.2 **<u>Experimento</u>**. Montem o circuito da Fig.3.5 com a fonte ajustada para $\mathbf{V_0}$ = **10V**. No estado estacionário (após o transiente) meçam as tensões na Fonte (**V**), no Capacitor ($\mathbf{V_C}$) e na Lâmpada ($\mathbf{V_L}$).

<u>Obs:</u> *Por motivos técnicos, optamos por usar dois capacitores em série ao invés de um único capacitor. Entretanto, este fato não altera a interpretação do experimento.*

I.3 Lembrando que $\mathbf{Q = C.V_c}$, onde **Q** representa a carga armazenada no capacitor, **C** é a capacitância e $\mathbf{V_c}$ o valor da tensão no capacitor. Usando o valor de **C ~ 0,05F**, estimem o valor de **Q**.

Removam o capacitor do circuito da parte **I.2** (tomem o cuidado para <u>não curto-circuitar</u> o capacitor).

I.4 **Previsão:** Qual deve ser o valor da tensão no capacitor?

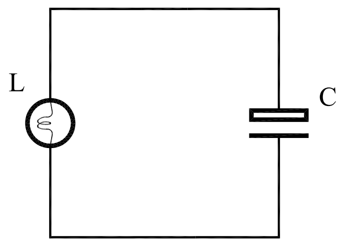
I.5 **Experimento**: Verifiquem, experimentalmente, com o auxílio do voltímetro digital, se seu prognóstico estava correto.

I.6 Será que vocês conseguem acender a lâmpada usando somente o capacitor, sem usar a fonte? Tentem isto experimentalmente e anotem o diagrama do circuito usado. Por fim, meçam o valor da tensão no capacitor. Expliquem o que ocorreu.

II. Carga e Descarga de Capacitores

ATENÇÃO: *Antes de montar o próximo experimento, descarreguem o capacitor. Para isso montem um circuito (Fig.3.6) com apenas o capacitor ligado uma lâmpada, em paralelo. Quando se descarrega o capacitor com um "curto circuito", o valor da corrente pode ser muito alto podendo danificar o capacitor.*

Figura 1.6 - Circuito para descarregar um capacitor

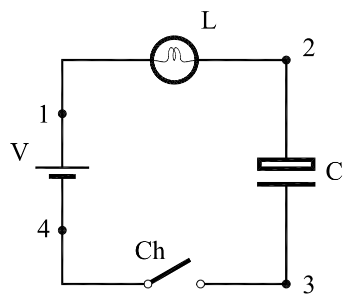


Fonte: Elaborada pelo Compilador

Experimento: Montem o circuito da Fig.3.7. Vocês vão repetir o experimento anterior, mas agora prestando mais atenção na resposta transiente do circuito, ou seja, em como o brilho da lâmpada evolui no tempo, após a chave ser fechada.

Obs: *Verifiquem se polaridade do capacitor* ***está correta*** *assim como o valor de* $\mathbf{V_0}$.

Figura 1.7 - Circuito com uma lâmpada em série com um capacitor



Fonte: Elaborada pelo Compilador

II.1 **<u>Previsão</u>:** Esbocem o gráfico da dependência temporal do brilho da lâmpada.

II.2 <u>Sem</u> utilizar o voltímetro, ou seja, baseando-se apenas através de suas observações visuais, respondam qual o valor de $\mathbf{V_C}$ ($\mathbf{V_{23}}$) nos seguintes casos:

a) imediatamente após a chave ser fechada (**t~ 0**);

b) muito tempo após a chave ter sido fechada ($\mathbf{t} \to \infty$).

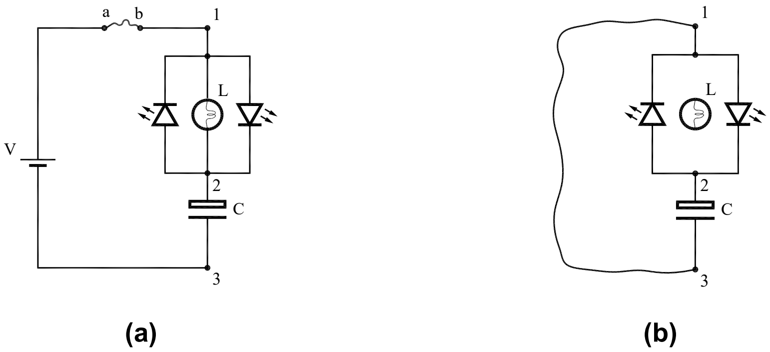
II.3 Esbocem a dependência temporal de $\mathbf{V_L}$ (a tensão na lâmpada, $\mathbf{V_{12}}$)**,** $\mathbf{V_C}$ (a tensão no capacitor,$\mathbf{V_{23}}$)**, Q** (carga no capacitor) e da corrente **I(t).**

<u>Antes</u> de iniciar o experimento a seguir, mostrem seus resultados a um instrutor.

<u>Previsões</u>: registrem por escrito as suas previsões e/ou do grupo e justificativas.

Verificando o sentido da corrente o circuito da Fig.3.8 com o capacitor inicialmente descarregado.

Figura 1.8 - Circuito com uma lâmpada em série com um capacitor



Fonte: Elaborada pelo Compilador

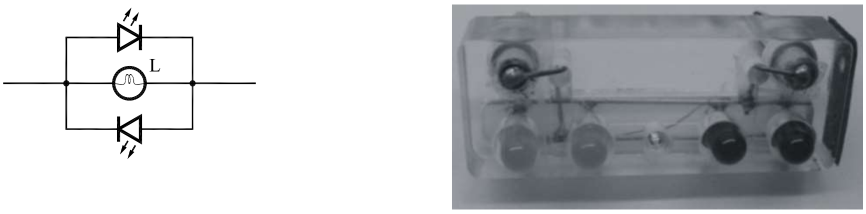
II.4 Qual o sentido da corrente quando a chave (**Ch**) é colocada na posição **a**?

II.5 Comparem o sentido da corrente nos pontos **1**, **2** e **3** do circuito.

II.6 Suponham que após o sistema atingir o estado estacionário, a chave seja colocada na posição **b**. Para este instante, prevejam o sentido da corrente, nos pontos **1**, **2** e **3**.

Na Fig.3.9 temos uma associação em paralelo de dois LEDS de cores diferentes, com polaridades contrárias (antiparalelos). Na prática **2**, vimos que esta configuração pode ser usada para indicar a direção da corrente

Figura 1.9 – (a) Circuito com dois LEDs em paralelo e invertidos ligados em série com uma lâmpada, (b) Foto da montagem dos dois LEDs com a lâmpada, .



(a) (b)

Fonte: Elaborada pelo Compilador

II.7 **<u>Experimento</u>**: Montem o circuito (Fig.3.8) inserindo o conjunto de LEDS, no lugar da lâmpada. Verifiquem o sentido da corrente (nos pontos **1**, **2** ou **3**) quando o capacitor é carregado (chave na posição **a**). O sentido é o mesmo? ***<u>Obs</u>***.: *os LEDs podem ser inseridos nos pontos **1**, **2** ou **3**.*

II.8 Observem agora o caso em que o capacitor é descarregado (chave na posição **b**). Registrem os resultados.

Neste ponto é muito importante que o grupo analise e discuta os resultados. Depois discuta suas conclusões com um instrutor <u>antes</u> de prosseguir a prática.

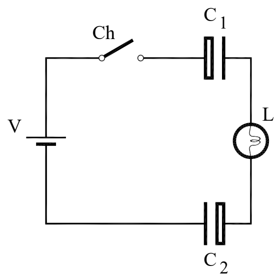
<u>Obs</u>.: *Se desejarem repetir o experimento lembrem-se de descarregar o capacitor através de uma lâmpada.*

III. Lâmpada entre Dois Capacitores

III.1 <u>Previsão</u>: Uma lâmpada é conectada a dois capacitores, inicialmente descarregados, como ilustrado na Fig.3.10. A respeito deste circuito um estudante fez o seguinte prognóstico:

“A corrente irá fluir do lado positivo da bateria para o lado negativo. Uma vez que a lâmpada está isolada da bateria por dois capacitores, a lâmpada não irá acender (ou brilhar)”.

Figura 1.10 - Circuito com uma lâmpada em série com dois capacitores



Fonte: Elaborada pelo Compilador

Vocês concordam com este prognóstico? Discutam e registrem por escrito a justificativa.

<u>Experimento</u>: Montem o experimento com **2** capacitores descarregados e **V_0 ~ 10V**. **Sem o usar o voltímetro** respondam, <u>logo após</u> a chave ser fechada (**t ~ 0**):

III.2 Qual a tensão na lâmpada? (***Obs***.: *Observe o brilho da lâmpada*)

III.3 Qual a diferença de potencial nos capacitores?

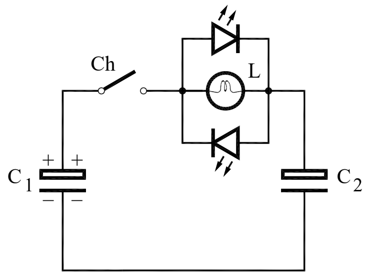
III.4 Respondam novamente as mesmas perguntas **III.**2 e **III.**3 para o estado estacionário (muito tempo após a chave ter sido fechada, **t** $\rightarrow\infty$).

III.5 Com os capacitores descarregados, substituam a lâmpada pelo conjunto de LEDs, no circuito da Figura 3.10 e verifiquem o sentido da corrente usando a dupla de LEDS (Fig.3.9(a))

IV. Conservação da Carga e Energia

A Fig.3.11 ilustra um circuito onde inicialmente o capacitor, C_1, está carregado e o capacitor, C_2, está inicialmente descarregado, ou seja, $\mathbf{V_{C1}(0) = V_0}$ e $\mathbf{V_{C2}(0) = 0}$.

Figura 1.11 - Circuito de uma lâmpada em série com dois capacitores, um carregado e outro descarregado



Fonte: Elaborada pelo Compilador

IV.1 Previsões: registrem por escrito as suas previsões e/ou do grupo e justificativas.

O que ocorrerá quando a chave for fechada? A lâmpada vai acender? Como será o comportamento da corrente, $\mathbf{I(t)}$, e das cargas, $\mathbf{Q_1(t)}$ e $\mathbf{Q_2(t)}$, dos capacitores $\mathbf{C_1}$ e $\mathbf{C_2}$, respectivamente?

IV.2 Experimento: Façam o experimento, com $\mathbf{C_1}$ carregado ($\mathbf{V_{C1} = 10V}$) e $\mathbf{C_2}$ descarregado. Montem o circuito tal como ilustrado na Fig.3.11, ou seja, a placa negativa de $\mathbf{C_1}$ ligada à placa negativa de $\mathbf{C_2}$. Logo em $\mathbf{t = 0}$, $\mathbf{V_{C1} \sim 10V}$ e $\mathbf{V_{C2} \sim 0V}$. Registrem suas observações e comparem a previsão (não é preciso usar o voltímetro).

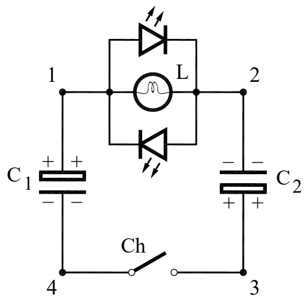
<u>Nota</u>: Para carregar o capacitor, basta fazer novamente o que é solicitado na Atividade I(Circuito RC Simples), fechando a chave.

IV.3 No estado estacionário ainda há carga nos capacitores? Como você pode verificar este fato experimentalmente?

obs: no vídeo fizemos o experimento carregando C_1 com tensão V_o = 5,5 V. No vídeo isto não ficou claro, no estado estacionário medimos $V_{C2} \sim V_{C1}$ = 2.7 V ~ $V_o/2$.

A Fig.3.12 ilustra o caso em que dois capacitores foram carregados simultaneamente, de tal forma que $\mathbf{V_{C1} = V_{C2} \sim 10V}$.

Figura 1.12 - Circuito de uma lâmpada em série com dois capacitores carregados



Fonte: Elaborada pelo Compilador

IV.4 <u>Previsões</u>: registrem por escrito as suas previsões e/ou do grupo e justificativas. O que ocorrerá? Discutam e façam um prognóstico análogo ao do item **IV.1**.

IV.5 **Experimento**: Realizar o experimento e discutir (análogo aos itens **IV.2** e **IV.3**).

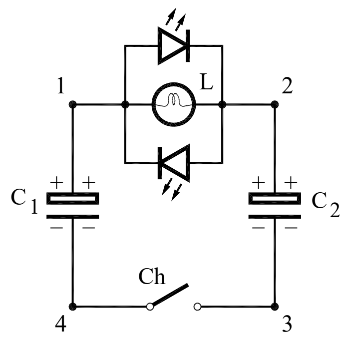
obs: no vídeo os dois capacitores foram inicialmente carregados com a mesma tensão V_o = 5,5 V. Depois o capacitor C2 é invertido de tal forma que em t = 0 (quando a chave é fechada) temos $V_{C1} \sim + V_o$ e $V_{C2} \sim - V_o$. Após a ligação, a carga dos dois capacitores diminui (em módulo) de tal forma no estado estacionário ambos estão descarregados ($V_{C1} \sim V_{C2} \sim 0$).

IV.6 Em qual dos experimentos (**IV.2** (Fig.3.11), ou **IV.5** (Fig.3.12)) a lâmpada brilha mais? Expliquem por que.

No vídeo isto não fica claro (os LEDs atrapalham um pouco). Fazendo o experimento somente com a lâmpada (sem os LEDs em paralelo) fica claro que o brilho inicial da lâmpada é maior no caso da Fig.3.12 comparado ao caso da Fig. 3.11.

IV.7 **Previsões:** Repetir o item **IV.4** na configuração ilustrada na Fig.3.13, com dois capacitores inicialmente carregados (**$V_{C1} = V_{C2} \sim 10V$**).

Figura 1.13 - Circuito de uma lâmpada em série com dois capacitores carregados



Fonte: Elaborada pelo Compilador

IV.8 Experimento: realizar o experimento e discutir (análogo aos itens **IV.2 e IV.3**).

obs: no vídeo os dois capacitores foram carregados com a mesma tensão V_o = 5,5 V. Após a chave ser fechada, a tensão permanece aproximadamente a mesma e não se observa corrente nos LEDs.

IV.9 Para o Relatório:

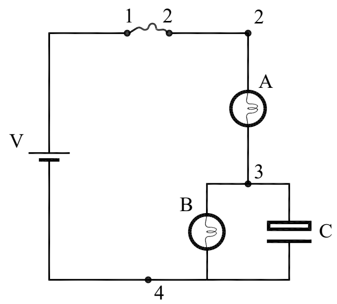
a) Suponha que os capacitores sejam idênticos, com capacitância **C = 0,05F**, a lâmpada se comporte como um resistor de valor **R = 10**Ω e desconsidere os LEDs. Para o circuito da Fig.3.11, calcule o valor da energia total armazenada nos dois capacitores em **t = 0** e **t** $\rightarrow \infty$. Há conservação da carga, ou seja, a carga total inicial é igual a carga final? Há conservação da Energia? Qual o valor da energia dissipada na lâmpada?

b) Item para os circuitos das Fig.3.12 e Fig.3.13.

V. Capacitor em Paralelo com uma Lâmpada

Duas lâmpadas idênticas e um capacitor (inicialmente descarregado) são conectados a uma fonte ideal tal como ilustrado na Fig.3.14.

Figura 1.14 - Circuito de uma lâmpada em série com um circuito em paralelo formado por uma lâmpada e um capacitor



Fonte: Elaborada pelo Compilador

V.1 **Previsões:** registrem por escrito as suas previsões e/ou do grupo e justificativas.

Como se comportará o brilho das lâmpadas (**A** e **B**) quando os pontos **a** e **b** estiverem ligados por um fio em **t ~ 0**? Alguma das lâmpadas estará apagada (brilho nulo) em **t ~ 0**?

V.2 **Experimento**: montem o experimento com $\mathbf{V_0}$ **~ 10V**. Observem e discutam o que acontece nas situações **t ~ 0** e **t** → ∞ (estado estacionário).

Obs*.: *NÃO *utilizem o voltímetro, ou seja, respondam somente a partir de suas observações visuais.*

<u>Logo após</u> (**t~0**) a chave ser fechada, respondam:

V.3 Qual o valor da diferença de potencial na lâmpada **A** **(V_A)**, na lâmpada **B** **(V_B)**, no capacitor **(V_C)**, e na bateria **(V_0)**? Explique.

V.4 Classifiquem (maior, menor ou igual) as correntes nas lâmpadas (**I_A, I_B)** no capacitor (**I_C**) e na bateria (**I_o**).

<u>Muito tempo após</u> (**t**→∞) a chave ser fechada, respondam:

V.5 Classifiquem as correntes **I_A, I_B, I_C** e **I_o**. Se alguma corrente for nula, indiquem explicitamente.

V.6 Classifiquem (comparem) os valores das tensões **V_A, V_B, V_C, V_0**. Expliquem.

V.7 Sumarizem seus resultados descrevendo o comportamento transiente (brilho) das lâmpadas **A** e **B**.

V.8 <u>Para o Relatório</u>:

a) Supondo que **V_0 = 10V**, escrevam o valor de todas as tensões (**V_A**, **V_B** e **V_C**) em **t=0** e verifiquem a validade da segunda lei de Kirchhoff (lei das tensões).

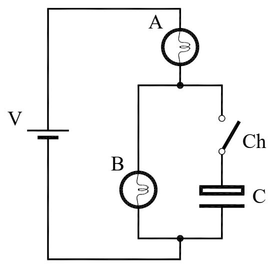
b) Idem para **t**→∞**.**

c) Suponha que as duas lâmpadas se comportem como resistores de resistência, **$R = 10\Omega$,** de tal modo que as correntes sejam dadas por **$I_A = V_A/R$** e **$I_B = V_B/R$**. Obtenham o valor de todas as correntes (**I_o**, **I_A**, **I_B** e **I_C**) em **$t = 0$** e verifiquem a validade da 1ª lei de Kirchhoff (lei das correntes).

d) Idem para **$t \rightarrow \infty$.**

Considerem agora o caso em que a chave é) colocada **em série** com o capacitor (descarregado), como ilustrado na Fig.3.15.

Figura 1.15 - Circuito de uma lâmpada em série com um circuito em paralelo formado por uma lâmpada e um capacitor



Fonte: Elaborada pelo Compilador

V.9 **<u>Previsão</u>**: o que ocorre com o brilho das lâmpadas se, após a chave for fechada?

V.10 **<u>Experimento</u>**: Montem o experimento com **V_0 ~ 10V** e verifiquem experimentalmente se suas previsões estavam corretas.

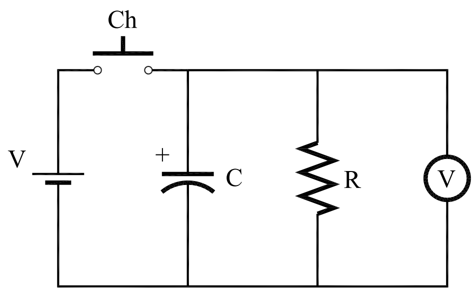
***<u>Obs</u>.**: Certifiquem-se que o capacitor esteja inicialmente descarregado.*

VI. Medida Quantitativa da Constante de Tempo RC

VI.1 Montem o circuito da Fig.3.16 utilizando um voltímetro digital, **R** = **220kΩ** e **C =100μF**.Ajustem a fonte para $\mathbf{V_0}$ **= 10V**. Com a chave **Ch** fechada leiam a tensão no voltímetro. Desliguem a chave **Ch** e observem a variação temporal da tensão sobre o capacitor que se descarrega pela resistência **R**.

<u>Obs:</u> Este experimento deve ser feito com um capacitor eletrolítico.

Figura 1.16 - Circuito RC em paralelo ligado a um Voltímetro



Fonte: Elaborada pelo Compilador

VI.2 Construam uma <u>tabela</u> dos valores da tensão $V_C(t)$ em função do tempo de descarga, medindo o tempo com um cronômetro. O cronômetro deve ser inicializado (**t=0**) quando, após ser carregado a chave é aberta e o capacitor é descarregado.(***<u>Obs</u>****: Aqui, você pode ser utilizado o celular para filmar o* *cronômetro e o voltímetro, ou mesmo utilizar o tempo de gravação do próprio vídeo para facilitar a coleta de dados*).

t	**V_C(t)**

O estudante deve utilizar a escala de tempo do vídeo para fazer as medidas, ou seja, fazer sucessivos pause

VI.3 Façam um gráfico em papel ***monolog*** de **V_C(t)** contra **t**, e determinem o valor da constante de tempo do circuito τ **= RC**, pelo gráfico.*(**Obs**: se o papel for di-log, usar apenas 1 ciclo da folha)*

Façam o gráfico em algum programa e façam o ajuste com uma função decaimento exponencial.

VI.4 Meçam o valor de **R** com um multímetro. Usando este valor, calculem o valor de **C**. Compare com o valor determinado pelo técnico do laboratório. Discutam o resultado obtido. A diferença entre estes dois valores está dentro da incerteza estimada para o valor de τ?

valor medido R = 221 KΩ

VI.5 Usando os mesmos valores de **R** e **C** do experimento anterior, meçam o tempo $\mathbf{t^*}$ necessário para que a carga do capacitor se reduza a metade do seu valor inicial. Notem que $\mathbf{V(t^*) = V/2}$, logo vocês podem usar a Eq. 5 para estimarem o valor de $\boldsymbol{\tau} = \mathbf{RC}$ a partir de $\mathbf{t^*}$. Estimem o valor de **t** e comparem com sua determinação mais cuidadosa feita através do gráfico. Discutam os resultados.

Vocês podem fazer isto usando o recurso pause no vídeo. Não é necessário pegar o tempo em que a tensão cai por um fator 2, pode ser qualquer valor.

VI.6 Repitam o item **VI.5** mudando os valores de **C** e/ou **R**.

Vcs podem estimar o tempo de decaimento do circuito com capacitor de 2200 μF, medindo o tempo que demora para a tensão cair para ~9 V.

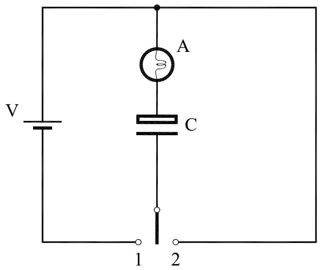
Lista de materiais (prática 03)

- 2 Supercapacitores (0,1F e V_{max} = 5,5V)
- 2 conjuntos de 2 capacitores em série (C_{eq} ~ 0,05F, V_{max} = 11V)
- 2 lâmpadas incandescentes (6V)
- 2 LEDs invertidos (conjunto indicador de corrente)
- Resistor de 220KΩ
- Capacitor eletrolítico C = 100 μF
- Fonte de tensão variável
- 1 chave
- Placa de circuitos, cabos banana – banana, etc.

Exercícios

1) O circuito da Figura ao lado contém uma bateria com tensão V_0 (constante), uma lâmpada (**A**), uma chave e um capacitor. Inicialmente (**t=0**) o capacitor está descarregado.

Descreva o comportamento da lâmpada nas seguintes situações:

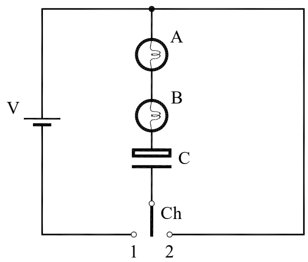


a) a chave é colocada na posição **1**. O que ocorre com a lâmpada? (imediatamente após a chave ser fechada e até muito tempo depois) Explique.

b). Em seguida (após atingir o estado estacionário) a chave é colocada na posição **2**. Descreva o comportamento da lâmpada imediatamente após a chave ser fechada e até muito tempo depois. Explique.

2) O circuito ilustrado ao lado contém uma bateria com tensão V_0 (constante), duas lâmpadas idênticas (**A** e **B**), uma chave (Ch) e um capacitor (**C**). Inicialmente (**t = 0**) o capacitor está descarregado.

Descreva o comportamento das lâmpadas nas seguintes situações:



a) a chave é colocada na posição **1**. O que ocorre com as lâmpadas logo após a chave ser fechada até muito tempo depois? Como o brilho inicial das lâmpadas **A** e **B** se comparam? Explique.

b) muito tempo depois de a chave ser fechada, como a tensão no capacitor se compara (maior, menor ou igual) com a tensão na bateria?

c) suponha que depois de muito tempo da chave ter sido colocada na posição 1 (situação **b**) a chave seja colocada na posição **2**. Descreva o comportamento do brilho das lâmpadas e da carga no capacitor.

d) qual a diferença entre o comportamento deste circuito e o do problema anterior?

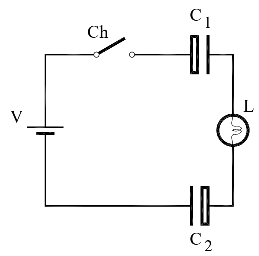
3) a) equacione a situação do exercício **1.a** considerando que a lâmpada se comporta aproximadamente como um resistor de valor **R**. Obtenha a expressão para a tensão do capacitor, $\mathbf{V_C(t)}$, a tensão na lâmpada, $\mathbf{V_A(t)}$ e a corrente **I(t)**. Esboce os gráficos de $\mathbf{V_C(t)}$, $\mathbf{V_A(t)}$ e a corrente **I(t)**.

b) Encontre o valor do tempo de subida, $\mathbf{t_r}$ (*rise time*), definido como o tempo necessário para que a tensão do capacitor suba de 10% a 90% do valor final (estado estacionário, $\mathbf{t \to \infty}$). Expresse seu resultado em termos de τ **= RC**

c) idem ao item **a**) para o caso descrito no exercício **1.b**.

4) Um resistor de **15,2kΩ** e um capacitor estão ligados em série. Um potencial de **13,0V** é subitamente aplicado á associação. O potencial aplicado ao capacitor sobe para **5,00V** em **1,28μs**. (**a**) calcule a constante de tempo. **(b)** Encontre a capacitância do capacitor.

5) A Figura ao lado mostra o experimento onde dois capacitores, de capacitâncias iguais $\mathbf{C_1 = C_2 = C}$, são ligados a uma fonte de tensão $\mathbf{V_0}$ e uma lâmpada. Suponha que a chave seja fechada em **t = 0**.



a) Logo após a chave ser fechada (**t ~ 0**) classifique a corrente na fonte ($\mathbf{I_o}$), na lâmpada ($\mathbf{I_L}$), no capacitor $\mathbf{C_1}$ ($\mathbf{I_{C1}}$) e no capacitor $\mathbf{C_2}$ ($\mathbf{I_{C2}}$).

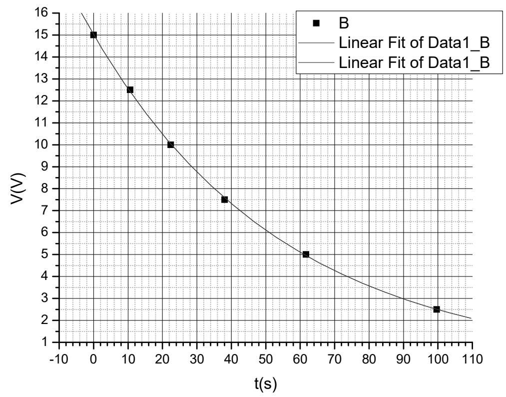
b) Após o sistema atingir o estado estacionário, compare o valor das cargas nos capacitores ($\mathbf{Q_1}$ e $\mathbf{Q_2}$) e suas tensões ($\mathbf{V_{C1}}$ e $\mathbf{V_{C2}}$).

c) Repita os itens a) e b) considerando agora que os capacitores são diferentes, com capacitâncias $\mathbf{C_1 = 2C_2 = C}$.

6) O gráfico ao lado ilustra a curva de decaimento de um circuito **RC**, ou seja, a dependência temporal da tensão no capacitor, $\mathbf{V_C(t)}$.

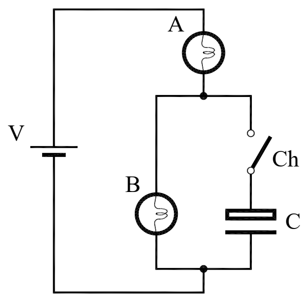
a) Faça um gráfico em papel monolog de $\mathbf{V_C(t)}$.

b) Calcule (aproximadamente) a constante de tempo do decaimento.



7) a) Duas lâmpadas idênticas e um capacitor (inicialmente descarregado) de capacitância **C = 0.1F**, são conectados a uma bateria ideal (com tensão $\mathbf{V_0}$ **= 10V**) tal como ilustrado na Figura ao lado.

Logo após a chave ser fechada (**t ~ 0**):



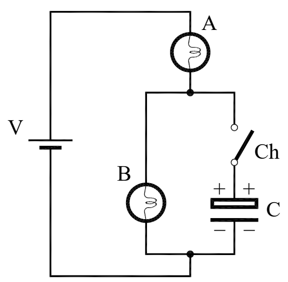
i) descreva o que observou em relação ao brilho das lâmpadas **A** e **B**.

ii) Qual o valor da diferença de potencial na lâmpada **A** ($\mathbf{V_A}$), na lâmpada **B** ($\mathbf{V_B}$), no capacitor ($\mathbf{V_C}$)?

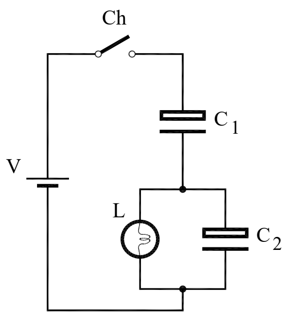
iii) Como uma primeira aproximação, considere que a lâmpada se comporta como um resistor ôhmico, com resistência efetiva de valor **R = 100Ω.** Em **t ~ 0**, calcule os valores das tensões $\mathbf{V_A}$, $\mathbf{V_B}$ e $\mathbf{V_C}$; e correntes $\mathbf{I_o}$ (da bateria), $\mathbf{I_A}$, $\mathbf{I_B}$ e $\mathbf{I_C}$.

iv) repita o item (**iii**) no caso **t→∞,** ou seja, muito tempo após a chave ser fechada quando o estado estacionário é atingido.

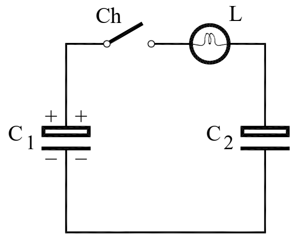
b) considere agora o caso em que inicialmente (**t ~ 0**) o capacitor está carregado com tensão $\mathbf{V_C(t \sim 0) = V_0}$. Repita todo o problema **a)** considerando esta situação.



8) Faça um prognóstico detalhado (de modo análogo ao feito no exercício **7**) sobre o comportamento do circuito ao lado, supondo que inicialmente os dois capacitores estejam descarregados e que as capacitâncias sejam iguais ($\mathbf{C_1 = C_2 = C}$).



9) Considere o experimento realizado nesta prática (**III**), com dois capacitores idênticos, $\mathbf{C_1 = C_2 = C}$. Inicialmente (antes da chave ser fechada) $\mathbf{C_1}$ está carregado, com carga $\mathbf{Q_{10} = V.C}$, e $\mathbf{C_2}$ descarregado ($\mathbf{Q_{20} = 0}$).



a) Qual o valor das cargas $\mathbf{Q_1}$ e $\mathbf{Q_2}$, muito tempo após a chave ser fechada?

b) Compare o valor da carga inicial $\mathbf{Q_i = Q_{10} + Q_{20}}$ com a carga final $\mathbf{Q_f = Q_1 + Q_2}$.

c) A Energia armazenada em um capacitor é dada por **U = V.Q/2**. Calcule a energia inicial do sistema, $\mathbf{U_i}$.

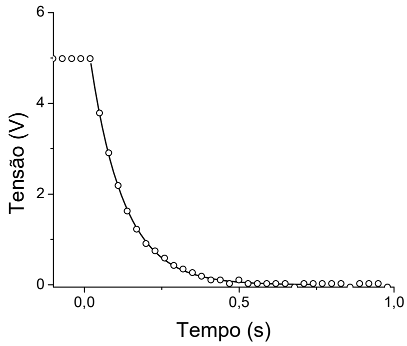
d) Calcule a energia final do sistema, $\mathbf{U_f}$.

e) Conclusão: há conservação da carga do sistema? Há conservação da energia do sistema?

10) Um estudante realizou um experimento descarregando um capacitor (**C**) através de um resistor **R = 1000Ω.** A resposta transiente da tensão no resistor é dada por:

$\mathbf{V_R(t) = 5,0.exp(-9,8t)}$,

(dados no MKS) tal como mostra o gráfico, onde **t = 0** representa o instante em que a chave foi fechada e o capacitor começou a descarregar.



a) Qual o valor da tensão inicial (em **t = 0**) do capacitor, $\mathbf{V_C(0) = V_0}$?

b) A partir de $\mathbf{V_R(t)}$, calcule a dependência da corrente, **I(t)**.

*Obs: lembre-se da relação entre **Q(t)** e **I(t)***

c) Obtenha o comportamento da carga no capacitor, **Q(t)**, e o valor da carga inicial, $\mathbf{Q_o}$.

d) Suponha agora que em outro experimento, mas com o mesmo capacitor (**C**) e resistor (**R**), a tensão inicial fosse $\mathbf{V_0' = V_0/2}$. Qual seria o novo valor da carga inicial, $\mathbf{Q_o'}$?

e) Você deve ter chegado à conclusão que $\mathbf{Q_o}$ é proporcional a $\mathbf{V_0}$, ou seja, $\mathbf{Q_o = C. V_0}$. Podemos afirmar que, em qualquer instante, **Q(t) = C.V(t)**, onde **C** é uma constante? Por quê?

f) É interessante agora refazer o problema considerando o caso geral, ou seja, a resolução literal do problema onde $\mathbf{V_R(t) = V_0.exp(-t/\tau)}$. A partir disto, obtenha **I(t)**, **Q(t)** e a constante **C**, a qual deve ser expressa em termos de **R** e τ. Verifique se esta solução está de acordo com o que você concluiu nos itens anteriore